Statistische und experimentelle Untersuchungen über praeoperative und intraoperative mechanische Kreislaufkomplikationen bei neurochirurgischen Operationen am sitzenden Patienten

von

Wolfgang FRANK
und Elisabeth FRANK-WALDNER

1972

Aus der Neurochirurgischen Klinik
der Universität des Saarlandes
(Direktor: Prof. Dr. med. F. LOEW)

Statistische und experimentelle Untersuchungen über praeoperative und intraoperative mechanische Kreislaufkomplikationen bei neurochirurgischen Operationen am sitzenden Patienten

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Wolfgang FRANK
und Elisabeth FRANK-WALDNER

1972

Dekan: Prof. Dr. med. H. KULENKAMPFF
Referent: Prof. Dr. med. F. LOEW

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Promotionsprüfung wurde am 12. 12. 1972 abgelegt.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Physiologische und pathophysiologische Grundlagen intraoperativer Kreislauf- und Atemmechanik	2
Statistischer Teil	
Analyse des Operationsguts	8
Orthostatische Veränderungen des Kreislaufs während der praeoperativen Aufsetzphase	13
Häufigkeit des Auftretens einer Luftembolie	19
Experimenteller Teil	
Untersuchungen intravasaler Druckverhältnisse unter IPPB und APNB in verschiedenen Körperpositionen	21
Zusammenfassung	35
Literaturverzeichnis	38

Einleitung

Eine der in der Literatur am häufigsten beschriebenen Gefahren neurochirurgischer Operationen am sitzenden Patienten bei Prozessen im Bereich der hinteren Schädelgrube und hoher cervikaler Segmente besteht neben allgemein orthostatisch bedingten Komplikationen (wie z.B. beim Aufrichten in die sitzende Position) in der drohenden Luftembolie durch eröffnete Venen.

Medizinhistorisch erwähnenswert ist die Tatsache, daß es sich keinesfalls um ein neueres Problem der modernen Chirurgie handelt. Bereits im Jahre 1760 berichtete MORGAGNI über deren letale Folgen, während erste experimentelle Ergebnisse durch BICHAT 1829 bekannt wurden.

Seit dem Jahre 1962 wurden in der Neurochirurgischen Klinik in Homburg/Saar 515 Patienten in sitzender Position operiert, davon alleine 233 Tumoren der hinteren Schädelgrube. Die vorliegende Dissertationsarbeit soll sich einmal mit den Erfahrungen bezüglich dieser Operationsweise auf der Grundlage des hiesigen Krankenguts beschäftigen; zum anderen soll sie in einem

anschließenden experimentellen Teil die haemodynamischen Veränderungen des Niederdrucksystems in der Aufsetzphase solcher in sitzender Position des Patienten durchgeführten Operationen an Hand des zentralen und peripheren Venendrucks, als besonders geeignete Parameter,erfassen. Durch die Komplexität des Themas bedingt, bot sich jedoch an, die physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen der intraoperativen Kreislauf- und Atemmechanik kurz darzustellen.

Physiologische und pathophysiologische Grundlagen intraoperativer Kreislauf- und Atemmechanik

Im Gegensatz zu dem relativ formstabilen arteriellen System sind intravasaler Druck und Querschnitt der Venen in starkem Maße von der Kinetik des umliegenden Gewebes abhängig. Dies zeigt sich nicht nur bei der sog. Muskelpumpe, die durch Senkung des peripheren Venendrucks (PVD) den Filtrationsdruck in den Kapillaren senkt und auf diese Weise eine eventuelle Oedemgefahr mindert; dies zeigt sich besonders deutlich in den Auswirkungen der Atmung auf den venösen Rückstrom durch Änderung des

intrathorakalen Druckes. Bei Inspiration sinkt der extravasale Umgebungsdruck, wodurch es zum Anstieg des sog. transmuralen Druckes kommt. Dieser transmurale Druck, als Differenz zwischen intra- und extravasalem Druck, bestimmt die Weite eines Gefäßes. Bei Inspiration kommt es zur Weiterstellung der intrathorakalen Venen, woraus eine Verringerung des Strömungswiderstandes resultiert. So erklärt sich auch die inspiratorische Senkung des intrathorakalen Venendrucks mit einer deutlichen Zunahme des Druckgefälles zum Thorax hin, des sog. transthorakalen Druckgefälles.

Ein weiterer Aspekt ist das inspiratorische Tiefertreten des Zwerchfells und die daraus resultierende Steigerung des intra-abdominellen Drucks mit ebenfalls deutlicher Steigerung des transthorakalen Druckgefälles. Deshalb verglich GAUER, im Zusammenhang mit den oben beschriebenen Druckschwankungen in der Vena cava inf., diesen Vorgang mit einer Drucksaugpumpe und sprach von einem "accessorischen Herzen".

Der Vollständigkeit wegen sei noch auf die Herztätigkeit hingewiesen, die während der Ventrikelsystole ebenfalls eine Saugwirkung auf das Venensystem ausübt. Dies ge-

schieht durch Verlagerung der geschlossenen Ventilebene in Richtung Herzspitze.

Wichtig ist jedoch die Tatsache, daß es sich bei dem Blutkreislauf nicht um ein abgeschlossenes System im physikalischen Sinne handelt. So treten, durch die Gravitation bedingt, beim Übergang vom Liegen zum Stehen in den Gefäßen nicht ausschließlich hydrostatische Drucke auf, deren Gesetze nur für ruhende Flüssigkeiten gelten, sondern gleichzeitig hydrodynamische. Dieses Problem berührt in starkem Maße die Pathophysiologie der Luftembolie, weshalb hierauf an späterer Stelle eingegangen werden soll.

Beim Übergang zur maschinellen Beatmung des Patienten während einer Operation treten haemodynamische Veränderungen auf, die einerseits unphysiologische Rückwirkungen auf die Blutzirkulation zur Folge haben, andererseits jedoch sich intraoperativ durchaus als brauchbar erweisen zur Minderung des Risikos einer Luftembolie.

Bei der intermittierenden Überdruckbeatmung (IPP) kommt es zum Einpressen eines Luftvolumens in die Lungen und somit, im Gegensatz zu den oben beschriebenen Verhältnissen bei Spontanatmung, zu einer starken Erhöhung des extravasalen Druckes mit Engerstellung und Druckerhöhung in den intrathorakalen Venen. Beträgt bei IPP der zentra-

le Venendruck (ZVD), der dem Druck in den intrathorakalen Venen annähernd gleichzusetzen ist, zum Beispiel inspiratorisch + 1o cm H_2O, so fällt er bei der Exspiration, die so gut wie ausschließlich den elastischen Kräften des Thorax überlassen ist, auf O cm H_2O ab. Dies entspricht einem mittleren Venendruck von + 5 cm H_2O.

Bei Wechseldruckbeatmung (WDB) werden Inspiration und Exspiration vom Beatmungsgerät übernommen. Dem entsprechend würde man z.B. inspiratorisch einen ZVD von + 5 cm H_2O, exspiratorisch ein ZVD von - 5 cm H_2O erwarten. Der mittlere Venendruck läge also bei O cm H_2O (Abb. 1).

Bei Verschiebung des mittleren Venendrucks in positive Werte (bei IPP z.B.) kommt es zur Verringerung des für den venösen Rückstrom bestimmenden transthorakalen Druckgefälles und somit zur deutlichen Rückflußminderung im Niederdrucksystem.

Dieser Rückflußminderung entgegen wirkt jedoch eine reaktive periphere Erhöhung des Venendrucks, um ein ausreichendes Druckgefälle wiederherzustellen (SPALDING, CRAMPTON, SMITH). Hervorgerufen wird die Erhöhung des PVD

1. durch erhöhte Spannung der Bauchdecken
2. durch Entleerung der Blutspeicher
3. durch erhöhten venösen Vasomotorentonus.

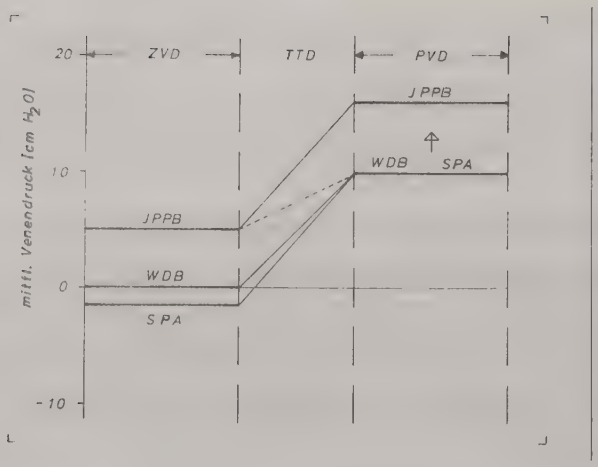

Abbildung 1

Darstellung des transthorakalen Druckgefälles (TTD) in den Venen bei Spontanatmung, IPPB und WDB. Deutlich wird außerdem die reaktive periphere Druckerhöhung (Pfeil) um ein ausreichendes Druckgefälle wieder herzustellen (nach Stoffregen).

Jedoch reicht erfahrungsgemäß intraoperativ die Rückflußminderung unter IPPB bei eröffneten Venen aus, um die Entstehung einer Luftembolie zu verhindern, zumal die reaktive Angleichung des PVD in der Narkose durch die Wirkung der Muskelrelaxantien und der ganglioplegischen Narkosemittel, auch durch intraoperative Blutverluste zumindest verlangsamt wird. Die durch die aufrechte Lagerung vermehrte Rückflußförderung aus den Venen in Kopf und Halsbereich wird somit durch eine beatmungsabhängige Rückflußminderung kompensiert.

Bei der Wechseldruckbeatmung (WDB) bedarf es zur Aufrechterhaltung des transthorakalen Druckgefälles keiner wesentlichen reflektorischen Erhöhung des PVD, so daß diese den physiologischen Verhältnissen der Spontanatmung am nächsten kommt. Darüber hinaus bietet sie sogar den Vorteil, daß die während der Narkose bei Spontanatmung beobachtete respiratorische Acidose nicht auftritt (Stoffregen).

Diese Verhältnisse, an der Beatmungsform der Wechseldruckbeatmung erklärt, lassen sich übertragen auf die heute übliche alternierend positiv-negative Druckbeatmung (APNB), da die WDB, bei der der mittlere Beatmungsdruck auf der Nullinie gehalten wird, lediglich eine spezielle Form der APNB darstellt.

Analyse des Operationsguts

Vom 1. 1. 1962 bis 26. 2. 197o wurden in der Neurochirurgischen Universitätsklinik in Homburg/Saar 515 Operationen in sitzender Position des Patienten durchgeführt. Es handelte sich, wie aus Tabelle 1 ersichtlich, einmal um Eingriffe wegen Trigeminusneuralgie, zum anderen um Operationen in der hinteren Schädelgrube, um Brückenwinkeltumoren einschließlich Akusticusneurinom, um hohe cervicale Prozesse und schließlich um Traumen, Operationen wegen Glossopharyngeusneuralgie und Revisionsoperationen, die in zwei Fällen wegen Nachblutungen, in vier Fällen wegen Liquoransammlung bzw. Cystenbildung im Operationsbereich durchgeführt wurden.

Außer den 515 oben genannten Operationen wurden noch ca. loo occipitale Bohrlöcher gelegt, deren genaue Zahl leider nicht ermittelt werden konnte. Deshalb fanden sie auch keine Berücksichtigung bei Erstellung von Tabelle 1.

Tabelle 1

Aufstellung und Verteilung der in der hiesigen Klinik in sitzender Position operierten Patienten in der Zeit vom 1. 1. 1962 bis 26. 2. 197o.

		Anzahl	Untersummen	Insges.
I. Eingriffe wegen Trig. neuralgie	Spiller-Frazier	176		
	Dandy	14		
	Sjöquist	1o	2oo	
II. Operationen der hinteren Schädelgrube	Kleinhirntumoren	11o		
	Mißbild.(1)	9		
	Torkildsen (2)	58		
	sog.Hintere Entlastung (3)	36		
	Foerster	14		
	Dandy-Walker	3		
	Angiom	3	233	
III. Brückenwinkeltu. (Ak.neur.)		57	57	
IV. hohe cerv. Tu.u.Bandscheiben		16	16	
V. Sonstiges	Revisionsop.	6		
	Glossoph.-neuralgie	1		
	Trauma	2	9	515

Anm.: 1. einschl.Basale Impress.,Arnold-Chiari ,Meningocelen
2. einschl.Pons-tu.,Tu.des 3. Ventr.,Aquaeduktstenosen
3. Entlastungsfreilegung der hinteren Schädelgrube wegen Stauungspapille unklarer Genese,sog.Pseudotumor cerebri

Verwertbar waren die Aufzeichnungen über 29o in sitzender Position operierter Patienten, auf welche sich auch die folgenden statistischen Untersuchungen beziehen.

Tabelle 2 zeigt die Altersverteilung von 29o der in der hiesigen Klinik im Zeitraum von 8 Jahren in sitzender Position operierten Patienten in Lebensjahrzehnte gestaffelt.

Tabelle 2

Lebensjahrzehnt	Anzahl d. sitzend operierten Pat.	Insgesamt
1.	32	
2.	43	
3.	32	
4.	23	
5.	32	
6.	46	
7.	52	
8.	27	
9.	3	
		29o

Zahlenmäßig stark vertreten war die Altersgruppe von 1o - 2o Jahren. Eine weitere, noch deutlichere Spitze zeigte die Altersgruppe von 6o - 7o Jahren. Hier handelte es sich vor allen Dingen, wie Tabelle 3 zeigt, um Operationen nach Spiller-Frazier, während in der Altersgruppe von 1o - 2o Jahren Operationen wegen Tumoren der hinteren Schädelgrube und Torkildsen-Drainagen bei weitem am häufigsten vorlagen. Auffallend das zahlenmäßig geringe Auftreten von Kleinhirntumoren in höherem Alter. Dies zeigte sich ebenfalls bei der Auszählung der Operationsarten der Altersgruppe von 5o - 6o Jahren, wo auch die Operationen wegen Trigeminusneuralgie eindeutig am häufigsten vorkamen, während Kleinhirntumoren nur viermal operiert wurden. Die Altersverteilung der Kleinhirngeschwülste entspricht im wesentlichen den von ZÜLCH angegebenen Verhältnissen.

Tabelle 3

Häufigkeit der Operationsarten bei 29o sitzenden Patienten in Abhängigkeit zum Lebensalter

	Lebensjahrzehnt								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Spiller-Frazier	o	o	o	2	13	27	44	27	3
Dandy	o	1	o	2	1	2	4	o	o
Sjöquist	o	o	o	o	1	o	o	o	o
Kleinhirntum.	16	14	1o	3	4	4	2	o	o
Mißbild. (1)	o	o	3	1	2	o	o	o	o
Torkild. (2)	9	17	1o	5	3	2	o	o	o
sog.Hint.Entl. (3)	4	7	7	2	1	2	o	o	o
Foerster	o	1	1	2	1	2	o	o	o
Dandy-Walker	o	1	o	o	o	o	o	o	o
Ak. neurin.	o	o	1	3	2	1	1	o	o
Brückenw.tu.	1	o	o	2	2	2	1	o	o
hohe cerv. BS u. Tu.	o	o	o	1	o	1	o	o	o
Revisionsoperationen	1	3	o	o	1	1	o	o	o
Traumen	1	o	o	o	1	1	o	o	o
Operationen insges.	32	43	32	23	32	46	52	27	3

Anm.: 1. einschl. basale Impress., Arnold-Chiari, Meningocelen
2. einschl. Pons-Tu., Tu. 3. Ventr., Aquäduktstenosen
3. Entlastungsfreilegung der hinteren Schädelgrube wegen Stauungspapille unklarer Genese, sog. Pseudotumor cerebri

Orthostatische Veränderungen des Kreislaufs während der praeoperativen Aufsetzphase

Beim Übergang vom Liegen zum Stehen kommt es zum Absacken des Blutes in die untere Körperhälfte. Als Ursache hierfür gilt allgemein eine mangelnde Tonisierung der Gefäße im peripheren, speziell kapillaren Bereich, die besonders bei älteren Patienten häufiger anzutreffen ist und ebenfalls durch die Wirkung der ganglioplegischen Narkosemittel und Muskelrelaxantien bedingt bzw. verstärkt sein kann.

Aus dem Versacken des Blutes in die Peripherie resultiert eine Abnahme der zirkulierenden Blutmenge. Eine gleichzeitige Verminderung des venösen Rückflusses zum Herzen kann, als Folge des Absinkens von Schlag- und Minutenvolumen, eine orthostatische Kreislaufinsuffizienz mit Mangeldurchblutung lebenswichtiger Organe und entsprechender, bis zur ausgeprägten Schocksituation reichender Symptomatik verursachen.

Wie die statistische Summenhäufigkeit in Tabelle 4 zeigt, kam es in unserer Klinik im Zeitraum von 8 Jahren bei einem zur Verfügung stehenden Anaesthesie-Material von 29o in sitzender Position operierter Patienten in

66 Fällen zum Auftreten orthostatisch bedingter Kreislaufveränderungen während der praeoperativen Aufsetzphase. Unter Aufsetzphase verstehen wir den Zeitraum zwischen Intubation, die im Liegen durchgeführt wird, und fertiger Lagerung des Patienten in die aufrechte Position.

Tabelle 4

Häufigkeit und Summenhäufigkeit orthostatisch bedingter Kreislaufveränderungen während der praeoperativen Aufsetzphase bezogen auf die Lebensjahrzehnte.

Lebensjahrzehnte	Häufigkeit der Veränderungen	Summenhäufigkeit d. Veränderungen
1.	3	3
2.	7	1o
3.	7	17
4.	4	21
5.	15	36
6.	11	47
7.	11	58
8.	6	64
9.	2	66

Bei der Erstellung von Tabelle 5 wurde unterteilt in Kreislaufveränderungen schwerer und leichterer Art, wobei ein RR-Abfall von deutlich über 2o mm Hg als leichte, ein RR-Abfall deutlich über 4o mm Hg bei relativer Tachykardie von mehr als 14o % der ursprünglichen Pulsfrequenz als schwere Kreislaufveränderung im Sinne einer echten Komplikation bezeichnet wurde.

Letale Ausgänge solcher Komplikationen konnten bisher durch sofortige therapeutische Maßnahmen verhindert werden.

Tabelle 5

Altersverteilung der Häufigkeit eindeutig orthostatisch bedingter Kreislaufveränderungen während der praeoperativen Aufsetzphase in den Jahren 1962 - 1969.

Lebensjahrzehnte	Veränderungen gesamt	davon schwer	leicht	% 1)
1.	3	3	o	9,4
2.	7	1	6	16,3
3.	7	1	6	21,9
4.	4	1	3	17,4
5.	15	5	1o	46,9
6.	11	5	6	23,9
7.	11	2	9	2o,7
8.	6	1	5	22,2
9.	2	1	1	66,6
Alle Jahrzehnte	66	2o	46	22,7

Anm.: 1) bezogen auf die Gesamtzahl der sitzend operierten Patienten s. Tab. 2

Auffallend jedoch ist die Tatsache, daß, wie aus Tabelle 6 hervorgeht, die Zahl der Kreislaufveränderungen während der Aufsetzphase seit dem Zeitraum 1968/69 stark gesunken ist. Gleich geblieben ist die Technik der Lagerung des Patienten, gleich geblieben ist ebenfalls die praeoperative parenterale Volumenauffüllung, geändert hat sich jedoch der Zeitpunkt der Gabe von Halothan, mit der nun bei sitzend operierten Patienten möglichst erst nach der Aufsetzphase, also unmittelbar vor der Operation, begonnen wird.

Die peripher vasodilatatorische Wirkung des Halothans kann sich nämlich im Zusammenhang mit der schon beträchtlichen kreislaufmäßigen Belastung des Patienten durch das Aufsetzen addierend auswirken und so den Patienten in einen schockähnlichen Zustand bringen. Dies gilt insbesondere für ältere Hypertoniker, Patienten mit Myocardschäden, Coronarsklerose und Aortenklappenfehler.

Tabelle 6

Auftreten eindeutig orthostatisch bedingter Kreislaufveränderungen während der praeoperativen Aufsetzphase in den Jahren 1962 - 1969 und prozentuales Verhältnis der Kreislaufveränderungen zur Gesamtzahl der in einem bestimmten Zeitraum sitzend operierten Patienten.

Zeitraum	Zahl der op. Pat.	Komplikationen gesamt	schwer	leicht	%
1962/63	83	21	7	14	25,4
1964/65	62	15	3	12	24,2
1966/67	71	17	6	11	23,9
1968/69	84	13	3	1o	15,5

Die statistische Signifikanz der Aussage von Tabelle 6 läßt sich durch den Chi-Quadrat-Test ermitteln. Das prozentuale Mittel beträgt, wie aus Tabelle 5 ersichtlich 22,7 %. So errechnet sich aus der Summe der Einzelgrößen nach der Formel $\frac{(O-E)^2}{E}$

für Chi-Quadrat $\sum$ 2,754. Aus der Tabelle der kritischen Chi-Quadrat-Werte ergibt sich, bei 3 Freiheitsgraden, daß das Auftreten orthostatischer Kreislaufveränderungen in der Zeit von 1962/63 bis 1968/69 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 3,81 % signifikant abgenommen hat.

Häufigkeit des Auftretens einer Luftembolie

Seit rund 10 Jahren des Bestehens der hiesigen Klinik werden Operationen in sitzender Position des Patienten durchgeführt. Bezüglich der Häufigkeit von Luftembolien differieren unsere Erfahrungen mit denen verschiedener Autoren anglo-amerikanischen Schrifttums wie HUNTER, der bei 15 spontan atmenden Patienten 1 Luftembolie diagnostizierte und sie in 3 Fällen nicht ausschließen konnte. Bei 2 kontrolliert beatmeten Patienten sei es in beiden Fällen zu Luftembolien gekommen. Nun ist jedoch aus der Literatur bekannt (MARSHALL, MICHENFELDER), daß Luftembolien unbemerkt für den Operateur ablaufen können. Jedoch äußern sie sich häufig in RR-Abfällen oder Tachyarrhythmien (MICHENFELDER). Wir haben aus diesem Grunde die Anaesthesie-Protokolle der sitzend operierten Patienten nach solchen intraoperativ aufgetretenen Schockzuständen

durchgesehen, die mit Sicherheit nicht Folge einer Blutung waren. Kreislauf und Atmung der Patienten wurden routinemäßig kontrolliert durch Messung von EKG, ZVD, Uras, Puls und intra-arteriellem Druck der A. radialis über einen Hellige-Multiscriptor.

Wir fanden für den Zeitraum von 1962 bis 1969 insgesamt zehn solcher Fälle, bei denen man an eine Luftembolie denken könnte. Keiner dieser Fälle nahm einen letalen Ausgang. Ob es sich in Wirklichkeit um Luftembolien handelte, läßt sich retrospektiv nicht entscheiden, weil man kaum überprüfen kann, ob diese intraoperativ gefundenen Kreislaufveränderungen sich nicht auf Manipulationen am Hirnstamm zurückführen lassen. Lediglich bei einem der Fälle wurde intraoperativ an das Vorliegen einer Luftembolie gedacht, weil unter der Beobachtung des Operateurs Luft in ein eröffnetes Gefäß angesogen wurde. Die Zahl von im ungünstigsten Falle zehn Beobachtungen ist jedoch bei einer Gesamtzahl von über 5oo in sitzender Position operierten Patienten vergleichsweise niedrig, ragt zahlenmäßig nicht aus anderen Risiken heraus und wird durch die Vorteile des Operierens in sitzender Position des Patienten - verbesserte Übersicht, geringerer Blutverlust, schonenderes Manipulieren am Gehirn und somit insgesamt verminderte Operationsgefährdung - weit kompensiert.

Untersuchungen intravasaler Druckverhältnisse unter IPPB und APNB in verschiedenen Körperpositionen

Problemstellung:

Bisher war es üblich, die Gefahren neurochirurgischer Operationen am sitzenden Patienten im gehäuften Auftreten von Luftembolien zu sehen. Einige Autoren bezeichnen als Grund hierfür einen Abfall des Venendrucks der cranialen Venen auf 0 cm H_2O (GUYTON), andere sprechen von negativen Druckverhältnissen (COLES).

Entscheidend für das Auftreten einer Luftembolie jedoch ist nicht der periphere Venendruck (PVD), gemessen in einem unverletzten Gefäß, entscheidend sind vielmehr die aktuellen Druckverhältnisse zum Beispiel bei der vollständigen Durchtrennung eines peripheren Gefäßes, was bei den Größenverhältnissen die wahrscheinlichste Verletzungsart ist. An einer solchen Verletzungsstelle findet man, da sie mit der Außenluft in Berührung gekommen ist, Atmosphärendruck. Beträgt angenommen der zentralvenöse Mitteldruck intraoperativ bei einem Patienten 0 cm H_2O und wird eine Kopfvene durchtrennt, so wirkt als bestimmende Kraft für den venösen Rückfluß, wenn man die Möglichkeit von AV-Shunts einmal nicht beachtet, lediglich Gravitation, denn der ZVD ist in diesem Falle gleich dem Atmosphärendruck, der an der Ver-

letzungsstelle herrscht. Je höher prae- und intraoperativ der ZVD z.B. durch Volumenauffüllung gehalten wird, desto größer ist das "Druckgefälle", das von cardial zur Verletzungsstelle hin, also cardiofugal, entsteht. Geschwindigkeit und Richtung des Flusses sind bestimmt durch die Differenz der cardiopetal und cardiofugal gerichteten Kräfte. Cardiopetal wirken inspiratorischer Sog und Gravitation, cardiofugal gerichtet ist die Druckdifferenz zwischen zentralvenösem und Atmosphärendruck an der Verletzungsstelle. Je höher der ZVD gehalten wird, desto langsamer ist der Rückfluß aus dem durchtrennten Gefäß zum Herzen hin, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit der Entstehung einer Luftembolie.

Für den weniger häufigen Fall einer nicht vollständigen Durchtrennung eines Gefäßes bei intaktem Blutfluß liegen ähnliche Verhältnisse vor. Hier kommt dem aktuellen peripheren Venendruck (PVD) an der Verletzungsstelle Bedeutung zu. Angenommen dieser Druck sei zum Zeitpunkt einer Verletzung negativ, so entstünde bei Kontakt mit dem Atmosphärendruck zweifelsohne ein Sog, dessen unvermeidliche Folge eine Luftembolie wäre. Liegt der Venendruck an der Verletzungsstelle jedoch im positiven Bereich, so kann keine Luft angesogen werden. Die Folge ist, daß es aus dem geöffneten Gefäß blutet. Auch für den Fall einer nicht vollständigen Durchtrennung gilt:

Je höher auch der PVD durch Volumenauffüllung prae- und intraoperativ gehalten wird, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit, daß negativer Druck an der Verletzungsstelle vorherrscht und der oben geschilderte Fall eintreten kann. Unklarheit jedoch herrscht noch bei der Beantwortung der Frage, ob der Venendruck intracerebral wirklich negativ ist, wie z.B. COLES behauptet. Neuere Untersuchungen von BARTH, an zehn Patienten in liegender und sitzender Position durchgeführt, ergaben in allen Fällen positive Druckverhältnisse im Bulbus venae jugularis.

Die anatomischen Verhältnisse im Bereich der hinteren Schädelgrube sind insofern praedestiniert für einen Lufteintritt in das Venensystem, als hier eine große Anzahl von Diploevenen und Emissarien vorkommen, die auf Grund ihrer knöchernen Umgrenzung nicht kollabieren können. Im operativen Vorgehen wird daher während der osteoklastischen Trepanation eine IPP-Beatmung durchgeführt, um eine Verkleinerung des venösen Druckgradienten zu erreichen. Es kommt dann zu einer Blutung aus den Diploevenen, die nach Abschluß der Trepanation mit Wachs verschlossen werden. Anschließend kann gefahrlos auf APN-Beatmung umgestellt werden.

Ob der intermittierenden Überdruckbeatmung (IPP) prophylaktische Bedeutung zukommt ist nur zu entscheiden durch Messungen des Venendrucks.

Messungen des PVD im Sinus sigmoideus sollen zusätzlich

eine Aussage machen über seine tatsächliche Höhe und das peripher-zentrale Druckgefälle.

Methodik:

Die Messungen des ZVD und PVD führten wir an drei cardial gesunden Patienten im Alter zwischen 19 und 23 Jahren durch, die anschließend in sitzender Position operiert wurden. Praeoperativ erhielten die Patienten wie üblich zwischen 8oo und 1ooo ml Flüssigkeit parenteral. Nach Punktion der V. basilica wurde zunächst ein 7o cm langer Polyäthylenkatheter mit einem Innendurchmesser von 1,o mm durch die Vena brachiocephalica in die Vena cava superior eingeführt. Etwa 3 cm unterhalb des Kieferwinkels wurde dann die Vena jugularis interna aufgesucht und ein weicher Venenkatheter des gleichen Innendurchmessers über den Bulbus venae jugularis hinaus, ungefähr 2 cm in den Sinus sigmoideus geschoben. Die Lage beider Katheter wurde anschließend durch Kontrastmitteldarstellung röntgenologisch überprüft. Zwei Dreiwegehähne erlaubten die wahlweise Messung einmal über Venotonometer (Wassersäule), zum anderen über zwei Meßsysteme bestehend aus je einem Statham-Element. Graphisch aufgezeichnet wurden die Druckänderungen durch Verbindung der Statham-Elemente mit je einem Kanal eines Hellige-Multiscriptors.

Nach Eichung der Meßsysteme gegen abgestufte hydrostatische Drucke und Prüfung der Durchlässigkeit der Systeme führten wir die Venendruckmessungen unter APN und IPP durch. Wir wählten jeweils drei verschiedene Körperpositionen des Patienten:

1. liegend (o Grad)
2. aufgerichteter Oberkörper um 45 Grad
   Beine in der Horizontalen (o Grad)
3. aufgerichteter Oberkörper um 9o Grad,
   Beine in der Horizontalen (o Grad)

Bei Patient 1 konnte der ZVD aus technischen Gründen nicht aufgezeichnet werden. Bei Patient 3 haben wir zusätzlich den arteriellen Druck in der A. radialis durch Einführen eines Katheters gemessen. Als Referenzpunkt der phlebostatischen Ebene bestimmten wir einen 5 cm dorsal des Sternums gelegenen Punkt in Höhe des Ansatzes der 4. Rippe am Sternum. Durch seitliche Schädelaufnahmen stellten wir röntgenologisch die Lage der Katheterenden im Sinus sigmoideus fest und bestimmten bei gleichbleibendem Kopf-Nacken-Winkel den 2. Referenzpunkt am Hinterkopf der Patienten. Nach jedem Positionswechsel wurden Druckelemente und Nullpunkt der H_2O-Manometer auf die Höhe dieser Marken eingestellt.

Messungen:

Tabelle 7

Patient 1: E.A., weiblich, 19 Jahre

Hakim-Ventil

	0° PVD	45° PVD	90° PVD
APN	2,5	8,2	2,0
IPP	5,0	8,5	2,5
IPP-APN	2,5	0,3	0,5

mittlerer Venendruck in $[cm\ H_2O]$

Messungen:

Tabelle 8

Patient 2: K.G., männlich, 2o Jahre
Hakim-Ventil

	0°			45°			9o°		
	ZVD	PVD	Δ p	ZVD	PVD	Δ p	ZVD	PVD	Δ p
APN	5,o	1o,5	5,5	4,5	1o,o	5,5	5,o	2,5	-2,5
IPP	7,3	11,o	3,7	6,o	1o,o	4,o	6,5	4,o	-2,5
IPP-APN	2,3	o,5		1,5	o,o		1,5	1,5	

mittlerer Venendruck in [cm H_2O]

Messungen:

Tabelle 9

Patient 3: G. L., weiblich, 23 Jahre
Hakim-Ventil

	ZVD	PVD	Δ p	p.art.	ZVD	PVD	Δ p	p.art.	ZVD	PVD	Δp	p.art.
APN	2,5	12,o	9,5	1oo/65	2,5	14,5	12,o	1o5/7o	22,o	4,5	-17,5	115/8o
IPP	5,o	13,o	8,o	1oo/65	4,o	15,5	11,5	11o/8o	23,o	5,o	-18,o	12o/8o
IPP-APN	2,5	1,o			1,5	1,o			1,o	o,5		

mittlerer Venendruck in [cm H_2O]

p. art. in [mm Hg]

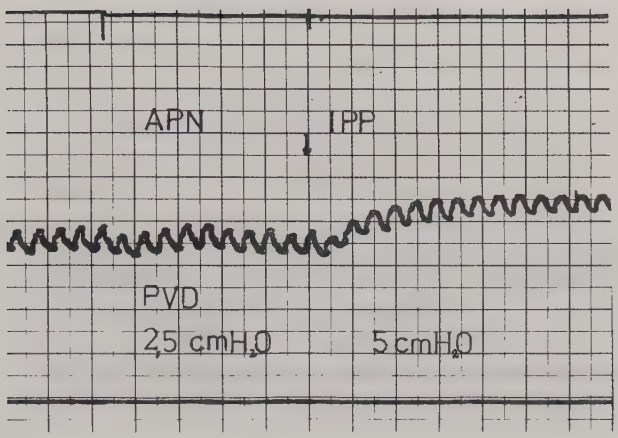

Abbildung 2

E.A. Messung des PVD in liegender Körperposition

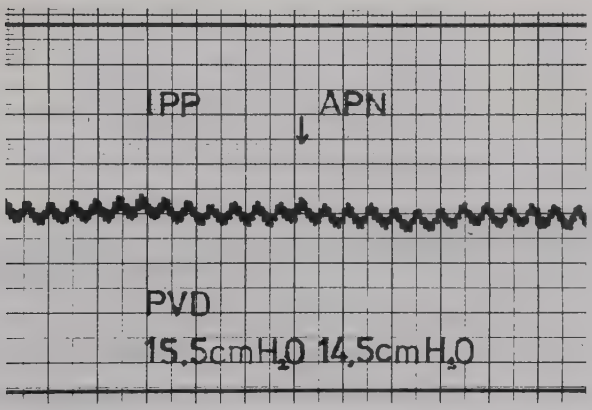

Abbildung 3

G.L. Messung des PVD in halbsitzender Position (45 Grad)

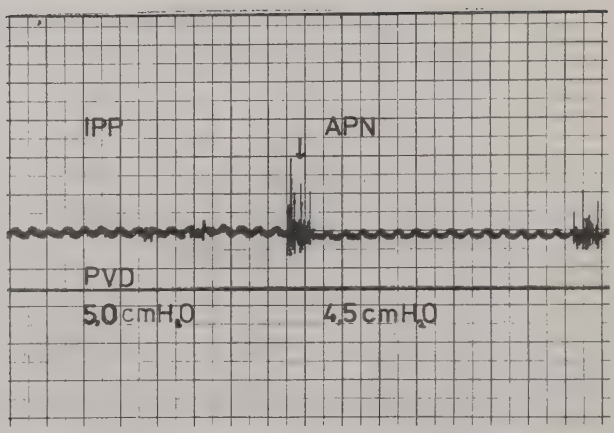

Abbildung 4

G.L. Messung des PVD in sitzender Position (9o Grad)

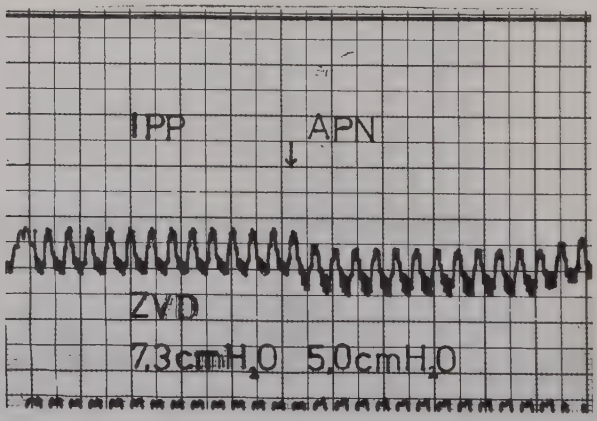

Abbildung 5

K.G. Messung des ZVD in liegender Körperposition

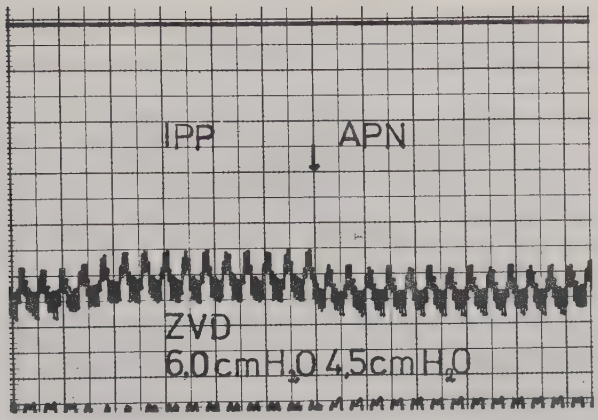

Abbildung 6

K.G. Messung des ZVD in halbsitzender Position (45 Grad)

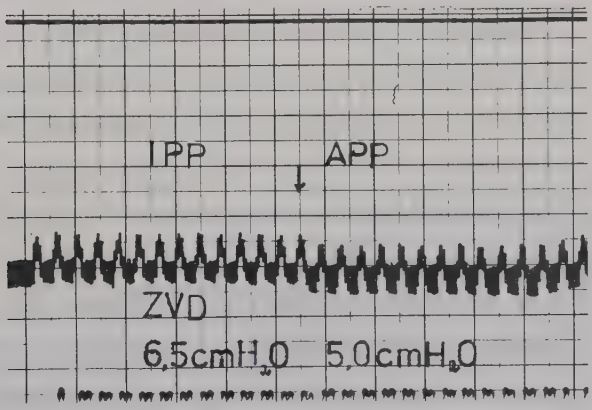

Abbildung 7

K.G. Messung des ZVD in sitzender Position (9o Grad)

Diskussion der Meßergebnisse:

Im Gegensatz zu der häufig geäußerten Auffassung von intracerebral subatmosphärischen Druckverhältnissen (GUYTON), liegen in allen drei Fällen die Messungen des peripheren Venendrucks (PVD) im Sinus sigmoideus auch beim sitzenden Patienten im positiven Bereich. Gleiches berichteten BARTH und RICHTER, die positive Jugularvenendrucke bei Horizontallage, 2o Grad Körperaufrichtung und 45 Grad Körperaufrichtung an 1o Patienten erhielten.

Bei unseren Messungen stieg der PVD in halbsitzender Position (45 Grad) zunächst deutlich an, eine Beobachtung, die auch von BARTH gemacht und durch das Auftreten eines "Hydrostatischen Effektes" erklärt wurde. In sitzender Position (9o Grad) ging der PVD wieder unter den Ausgangswert der Horizontallage zurück und lag jeweils niedriger als der ZVD, woraus ein negatives Δ p resultierte. Gegenüber der alternierend positiv-negativen Druckbeatmung (APN) zeigten sich bei der intermittierenden Überdruckbeatmung (IPP) bei Patient 1 und 3 in horizontaler Lage die deutlichsten Veränderungen des Sinusdrucks, während in sitzender Position nur bei Patient 2 noch eindeutige, bei den übrigen Patienten nur angedeutete Erhöhungen des PVD unter IPP sichtbar wurden.

Auch für den Fall einer intraoperativen unvollständigen Durchtrennung eines Gefäßes bei intaktem Blutfluß (siehe Abschnitt: Problemstellung) hätte es in unseren Fällen durch den positiven Sinusdruck nicht zu einer Luftembolie kommen können, zumal durch intermittierende Überdruckbeatmung auch in sitzender Position der PVD, wenn auch nur geringfügig, angehoben wurde.

Auffallender waren bei der intermittierenden Überdruckbeatmung die Veränderungen des ZVD. Am deutlichsten zeigten sie sich auch hier am liegenden Patienten. In halbsitzender und sitzender Position fanden sich jedoch, bei etwa gleichgebliebenem arteriellen Druck noch eindeutige Erhöhungen des ZVD unter IPP.

Auf der Grundlage der durchgeführten Messungen kann man als bewiesen ansehen, daß der intermittierenden Überdruckbeatmung über die Erhöhung des ZVD therapeutische Bedeutung zukommt, da im Falle einer Venendurchtrennung ein höherer ZVD zur cardiofugalen Seite hin das Kräfteverhältnis verschiebt und dem Eindringen von Luft entgegenwirken kann (siehe Abschnitt: Problemstellung). Zwar wird der Überdruckbeatmung am sitzenden Patienten

keine ausschließliche Bedeutung zukommen, jedoch im Zusammenspiel mit einer ausreichenden praeoperativen Volumenauffüllung und intraoperativer Flüssigkeitsbilanzierung ist sie, zum Beispiel während der Trepanation des Schädelknochens eingeschaltet, ein recht zuverlässiges Mittel zur Verhütung einer Luftembolie, wie die Erfahrungen an der hiesigen Klinik es zeigen.

Außerdem halten wir vor allen Dingen die praeoperative Volumenauffüllung für eine gute Möglichkeit, die 10 - 12-stündige Nahrungskarenz vor der Operation, die natürlicherweise auch einen Einfluß auf die Höhe des zentralen und peripheren Venendrucks hat, auszugleichen. Der experimentelle Beweis hierfür kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht geführt werden. Jedoch spricht dafür die Tatsache, daß an der hiesigen Klinik nach ausreichender praeoperativer Volumenauffüllung, genauer intraoperativer Flüssigkeitsbilanz und bei Bedarf Einschaltung der intermittierenden Überdruckbeatmung in den über zehn Jahren seit Bestehen der Klinik es zu keinem eindeutigen Fall einer Luftembolie am sitzend operierten Patienten gekommen ist.

Zusammenfassung

Die Risiken neurochirurgischer Operationen am sitzenden Patienten werden im allgemeinen in orthostatischen Störungen während oder unmittelbar nach der praeoperativen Aufsetzphase und in der verstärkten Gefahr des Auftretens einer Luftembolie gesehen.

1. Auf Grund des ausgewerteten Krankenblattmaterials und der Narkoseprotokolle von 29o in sitzender Position operierten Patienten der letzten zehn Jahre kann gesagt werden, daß die Hauptgefahren in den orthostatischen Dysregulationen liegen, die jedoch ausnahmslos beherrscht werden konnten.

2. Bei den Patienten der Altersgruppe zwischen dem 5o. und 6o. Lebensjahr traten in 47 % der Fälle, bei einem Durchschnitt aller Lebensjahrzehnte von 23 %, Blutdruckabfälle, teilweise mit Schocksymptomatik, unmittelbar nach der Lagerung in die sitzende Position auf. Die geringste Anfälligkeit zeigten mit 9 % die Altersgruppe von o bis 1o Jahren und mit 16 % die Altersgruppe von 1o bis 2o Jahren.

3. Die Zahl der orthostatischen Kreislaufveränderungen ist von durchschnittlich 25 % im Zeitraum von 1962/63 auf 16 % im Zeitraum 1968/69 zurückgegangen.
   Den Grund hierfür sieht man anaesthesiologischerseits, bei sonst gleichgebliebener Operationsvorbereitung und Lagerungstechnik, in der Änderung des Zeitpunkts der Gabe des peripher vasodilatatorischen Halothans, mit der beim sitzend operierten Patienten erst unmittelbar vor der Operation begonnen wird, wenn bereits die kritische Aufsetzphase abgeschlossen ist.

4. Im gleichen Zeitraum konnte nur bei einem Fall eine Luftembolie wahrscheinlich gemacht werden. Bei weiteren 9 Fällen fanden sich intraoperativ RR-Abfälle und Tachyarrhythmien, die nicht Folge einer Blutung waren. Bei diesen Fällen muß offen bleiben, ob es sich um leichte, klinisch belanglose Luftembolien, oder um die Folgen von Manipulationen am Hirnstamm gehandelt hat.

5. An drei Patienten führten wir unter APN und IPP Messungen des zentralen Venendrucks (ZVD) und des Venendrucks im Sinus sigmoideus (PVD) in drei

Körperpositionen (o Grad, 45 Grad, 9o Grad) durch. Bei allen Patienten erhielten wir auch nach Körperaufrichtung in die sitzende Position positive Druckverhältnisse.

Beim Übergang zur IPPB traten besonders deutlich in Horizontallage Erhöhungen sowohl des ZVD als auch des PVD auf. In sitzender Position wurde der PVD in allen Fällen nur geringfügig gehoben, während die Druckerhöhung des ZVD eindeutiger festzustellen war. Die Ergebnisse der Messungen lassen den Schluß zu, daß der intermittierenden Überdruckbeatmung durch Erhöhung des ZVD und des PVD auch in sitzender Position des Patienten, gleichzeitig mit einer prae- und intraoperativen Volumenauffüllung, Bedeutung zukommt in der Verhütung einer Luftembolie.

Literaturverzeichnis

(1) BARTH, L.
Untersuchungen zum Mechanismus der Luftembolie
1. Mitteilung
Der Anaesthesist 1971, S.356

(2) BARTH, L., RICHTER, J.
Untersuchungen zum Mechanismus der Luftembolie
2. Mitteilung
Der Anaesthesist 1971, S.43o

(3) COLES, B.C., RICHARDSON, H.F., HALL, G.E.
Canad.med.Ass.J. 37, 1937
zit. bei EMERY, E.R.J.
Air embolism, Anaesthesia 17, 1962, S. 455

(4) GAUER, O.H.
in
Landois-Rosemann
Lehrbuch der Physiologie
28. Auflage, Band I, S. 137

(5) GUYTON, A.C.
Testbook of medical physiology,
3rd ed. Philadelphia-London
W.B. Saunders 1968

(6) HUNTER, A.R.
Air embolism in the sitting position
Anaesthesia 17, Nr. 4, 1962
S. 467

(7) MARSHALL, B.M.
Air embolism in neurosurgical anaesthesia,its diagnosis and its treatment
Canad.Anaesth.Soc.J. 12, 255-261, May 1965

(8) MICHENFELDER, J.D., MARTIN, J.T., ALTENBURG, B.M., REHDER, K.
Air embolism during neurosurgery
J.amer.med.Ass. 208, 1969 S. 1353

(9) SPALDING, J.M.K., CRAMPTON SMITH, A.
Clinical Practice and Physiology of Artificial Respiration
Blackwell-Scient.Publ., Oxford 1963

(10) STOFFREGEN, J.
in FREY, HÜGIN, MAYRHOFER
Lehrbuch der Anaesthesiologie und Wiederbelebung 12. Auflage 1971, S. 430-467

(11) ZÜLCH, K.J.
Biologie und Pathologie der Hirngeschwülste
In Olivecrona, H.u.W. TÖNNIS:
Handbuch der Neurochirurgie Band III
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1956

Herrn Professor Dr. F. L O E W danken wir
für die Überlassung des Themas,
Herrn Dr. K. FAULHAUER und
Herrn Professor Dr. E. RACENBERG für die Ratschläge und Unterstützung bei der Durchführung der experimentellen und klinischen Arbeiten.

Lebenslauf

Geboren wurde ich, Wolfgang Frank, am 13. 7. 1946 in Mettlach/Saar, als jüngster von drei Söhnen des Fabrikarbeiters Peter Frank und seiner Ehefrau Hedwig geb. Braun. Nach fünf Klassen Volksschule besuchte ich von 1957 bis 1966 die höhere Schule, zuletzt das Staatliche Ludwigsgymnasium in Saarbrücken, wo ich am 5. 3. 1966 im neusprachlichen Zweig die Reifeprüfung ablegte. Von Sommersemester 1966 bis einschließlich Wintersemester 1971/72 studierte ich Humanmedizin an der Universität Heidelberg, an der Freien Universität Berlin und an der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes in Homburg/Saar, wo ich zur Zeit die ärztliche Prüfung ablege.

Lebenslauf

Am 19. 3. 1947 wurde ich, Elisabeth Frank-Waldner, geb. Waldner, als jüngstes Kind des Oberstudienrates Karl Waldner und Elisabeth Waldner, geb. Krohn in Mittersill/Österreich geboren. Die Einschulung erfolgte 1953 in Blieskastel/Saar. Ab 1958 besuchte ich das Staatliche Mädchenrealgymnasium in Homburg, wo ich im Oktober 1966 das Abitur ablegte. Von Wintersemester 1966 bis Wintersemester 1971/72 studierte ich an der Universität des Saarlandes Zahnheilkunde, legte vor dem Prüfungsausschuß in Homburg am 15. 1o. 1969 die zahnärztliche Vorprüfung ab und befinde mich zur Zeit in der zahnärztlichen Prüfung.